

PRÓBA PROBABILISTYCZNEJ OCENY BEZPIECZEŃSTWA MOSTÓW STALOWYCH

WITOLD WIERZBICKI (WARSZAWA)

Wymiarowanie poszczególnych elementów mostów stalowych odbywa się na ogół w ten sposób, że dla normatywnie ustalonego obciążenia mostu znajdujemy naprężenia w poszczególnych jego elementach i sprawdzamy, czy naprężenia te nie przekraczają pewnych naprężeń ustalonych również normatywnie. W takich obliczeniach wpływ ruchu ciężarów po moście na jego wytrzymałość jest uwzględniony w sposób niejawni i tkwi w ustalonym dla danych warunków naprężeniu dopuszczalnym.

Wydaje się słuszne ze względu na ekonomikę zagadnienia wyznaczenie wymiarów poprzecznych poszczególnych elementów mostu na podstawie bardziej sprecyzowanego czynnika dynamicznego. Temu zagadnieniu poświęcony jest właśnie niniejszy artykuł.

Pod bezpieczeństwem mostu rozumiemy taki stan jego, kiedy wyłączona jest możliwość jakichkolwiek wywołanych obciążeniem niepożądanych zmian w jego konstrukcji z wyjątkiem zmian o charakterze wyraźnie powierzchniowym, jak zużycie nawierzchni, uszkodzenie poręczy itp.

Powstanie wymienionych wyżej niepożądanych zmian w konstrukcji mostu będziemy dalej rozumieli jako *katastrofę*. Niebezpieczeństwo, w jakim znajduje się pojedynczy element mostu, pociąga za sobą w omówionym sensie niebezpieczeństwo całego mostu.

W tych warunkach za katastrofę mostu możemy uznać równie dobrze runięcie mostu do rzeki, jak i przekroczenie w jego elementach pewnych charakterystyk materiałowych, do którego dla tych czy innych powodów nie chcemy dopuścić. W obydwóch wypadkach, jak i w innych pośrednich, będziemy odpowiednio mieli do czynienia za każdym razem z innym *wskaźnikiem* bezpieczeństwa, jako miarą bezpieczeństwa mostu.

Dla skrócenia rozumowań będziemy dalej mówili tylko o stalowym moście kratowym o części przejazdowej nie wzbudzającej obaw co do jej bezpieczeństwa, a za katastrofę będziemy uważali przekroczenie w pewnym elemencie mostu granicy plastyczności.

Bezpieczeństwo każdego elementu mostu zależy od jakości materiału, z którego jest wykonany, od rodzaju obciążeń i w niektórych wypadkach od wielkości jego odkształceń.

Te trzy czynniki składające się na bezpieczeństwo pewnego elementu mostu nie dają się jednakowo dokładnie ocenić ze statystycznego punktu widzenia. Statystyka obciążeń jest stosunkowo najłatwiejsza do zdobycia, statystyka charakterystyk wytrzymałościowych stali natrafia już w wielu przypadkach na znaczne trudności, bardzo trudna jest wreszcie do zdobycia dostateczna statystyka odkształceń.

Stąd wynika, że gdybyśmy się nawet nie bali trudności rachunkowych związanych z jednoczesnym ujmowaniem wszystkich trzech wymienionych wyżej czynników bezpieczeństwa, to i tak ze względu na różną wartość danych statystycznych dotyczących każdego z nich nie powinniśmy ich rozpatrywać jako czynników losowych łącznie.

Dla wymienionych powodów należy przede wszystkim przyjąć najwłaściwsze rodzaje obciążeń statycznych mostu w pewnych okolicznościach i te obciążenia przy poszukiwaniu *współczynników* bezpieczeństwa przyjmować za wielkości pewne, nielosowe, niezależnie od sposobu ich ustalenia.

Naprężenia przy rozciąganiu, ściskaniu i zginaniu stalowych elementów mostu obliczone dla obciążeń statycznych według ogólnych zasad wytrzymałości materiałów wyrażają się za pomocą wzorów

$$(1) \quad \sigma_0 = \frac{S}{A}, \quad \sigma_0 = \frac{S}{\kappa A}, \quad \sigma_0 = \frac{M}{W},$$

gdzie S oznacza siłę w elemencie rozciąganym lub ściskanym, wywołaną przez obciążenie statyczne mostu, M odpowiednio moment zginający w elemencie podlegającym zginaniu, A pole przekroju poprzecznego elementu rozciąganego lub ściskanego, W wskaźnik wytrzymałości pręta podlegającego zginaniu, wreszcie κ współczynnik zmniejszający przekrój pręta ze względu na wyboczenie.

Ponieważ chodzi nam jednak zwykle o wyznaczenie naprężeń w mostach znajdujących się pod obciążeniem ruchomym, wprowadzamy do wzorów (1) zamiast wielkości S i M wielkości $S\vartheta$ i $M\vartheta$, gdzie ϑ oznacza *współczynnik dynamiczny*. Będziemy wówczas mieli zamiast wzorów (1) wzory

$$(2) \quad \sigma = \frac{S\vartheta}{A}, \quad \sigma = \frac{S\vartheta}{\kappa A}, \quad \sigma = \frac{M\vartheta}{W}.$$

Główne źródła oddziaływania dynamicznego na mosty pojazdów, a więc i okoliczności wpływające na wielkość współczynnika ϑ są następujące:

1) Pionowa składowa siły odśrodkowej przeciwwag kół parowozu odgrywa rolę dodatkowego obciążenia. Wartość tego obciążenia trudno jest wyznaczyć rachunkowo, ponieważ przeciwwagi poszczególnych kół nie zajmują jednocześnie tego samego położenia. Dodatkowe obciążenie dynamiczne wywołane też bywa przez ruch wahadłowy resorów i górnych części pojazdów w stosunku do ich kół.

2) Nierówności na obwodzie kół taboru wywołują uderzenia kół o szyny (rys. 1). Podobne znaczenie mają również nierówności szyn względnie jezdni drogowej.

3) Wobec wyginania się mostu, ciężary znajdujące się na nim doznają przesunięć w kierunku pionowym (rys. 2), przy czym dzięki energii kinetycznej tych ciężarów powstają uderzenia.

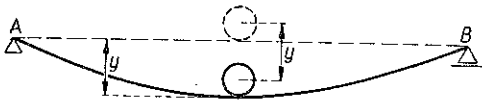
4) Kiedy belka mostowa ulega wygięciu, koło przesuwając się po linii krzywej daje siłę odśrodkową, która stanowi dodatkowe obciążenie mostu (rys. 2).

Wymienione siły mają charakter okresowy i dlatego jako siły wymuszające mogą w zasadzie spowodować drgania mostu względem pewnego położenia jego osi. Niebezpieczeństwo większych odkształceń wywołanych zjawiskiem rezonansu jest w tym wypadku jednak niewielkie, gdyż wahania licznie tu występujących sił wymuszających odbywają się w różnych fazach i dlatego równość okresu drgań własnych mostu i wypadkowej sił wymuszających jest mało prawdopodobna.



Rys. 1

Ponieważ trudno jest ocenić sposób dynamicznego oddziaływania ciężarów na most w każdym przypadku szczególnym, trzeba się więc uciec do doświadczalnego wyznaczenia współczynnika dynamicznego jako stosunku odkształceń mostu pod obciążeniem ruchomym do odkształceń



Rys. 2

most w każdym przypadku szczególnym, trzeba się więc uciec do doświadczalnego wyznaczenia współczynnika dynamicznego jako stosunku odkształceń mostu pod obciążeniem ruchomym do odkształceń

pod obciążeniem stałym. W związku z tym współczynnik dynamiczny wyrażamy często za pomocą wzoru

$$(3) \quad \vartheta = 1 + \frac{A}{l+B},$$

gdzie l oznacza rozpiętość mostu, zaś A i B są to pewne współczynniki doświadczone od l na ogół niezależne, bądź też za pomocą wzoru

$$(4) \quad \vartheta = 1 + \frac{a}{2f},$$

gdzie a oznacza amplitudę drgań pionowych przy największym ugięciu mostu, a f wielkość ugięcia statycznego, przy czym a i f ustalane tu są drogą bezpośredniego pomiaru.

Ze względu na przedstawiony sposób działania dynamicznego ciężarów na most należy współczynnik ϑ uważać nie za wielkość stałą, lecz za wielkość losową. Dalej będziemy przyjmowali jego postać (4), przy czym jako wielkość losową zadania będziemy traktowali drugi składnik sumy (4), czyli wielkość

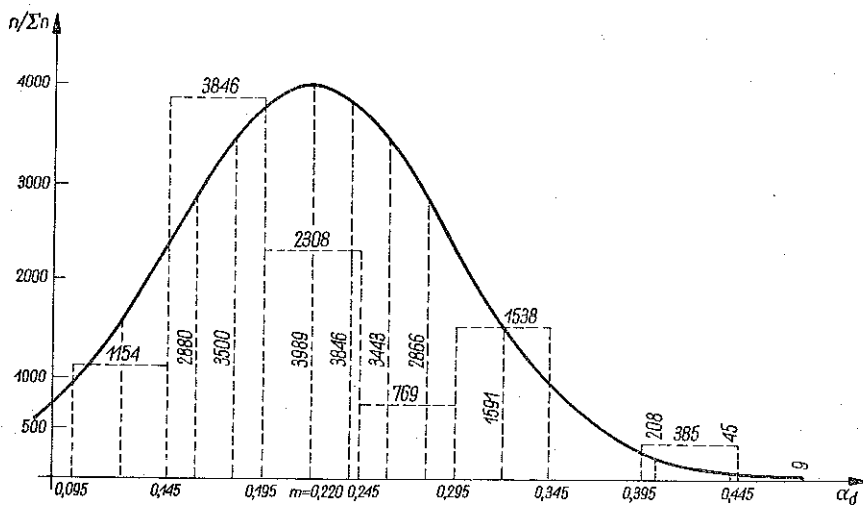
$$(5) \quad \alpha_a = \frac{a}{2f}.$$

Mając na widoku probabilistyczne ujęcie zagadnienia bezpieczeństwa mostu stalowego przy obciążeniu dynamicznym lub też zastosowanie tu metody pół-probabilistycznej musimy przede wszystkim sporządzić dla wielkości α_a wykres rozkładu gęstości prawdopodobieństw ich występowania.

Wobec braku własnego materiału doświadczalnego korzystamy tu z danych zawartych w literaturze specjalnej, w znacznym stopniu z danych LESOCHINA, [1]. Wartości α_d , z których korzystamy, dotyczą mostów kratowych o rozpiętościach zawartych w granicach od 45 do 100 m. Dane te traktujemy dalej jednakowo, niezależnie od źródeł, z których zostały zaczerpnięte i niezależnie od rozpiętości mostów l zawartych w omówionych wyżej granicach. Budujemy więc histogram częstości względnych $n/\Sigma n$ wielkości (5) oraz odpowiednią krzywą prawdopodobieństwa (rys. 3)¹. Robimy to na podstawie następujących wartości α_d , których liczbę oznaczamy ogólnie przez n

0,18	0,14	0,18	0,19
0,17	0,19	0,24	0,10
0,33	0,17	0,21	0,24
0,18	0,29	0,24	0,22
0,17	0,20	0,27	0,10
0,33	0,41	0,33	—
0,18	0,17	0,30	—

Na rysunku 3 prostokąty oznaczone liniami przerywanymi przedstawiają histogram dla wyżej wyszczególnionych wielkości, a krzywa wykreślona linią pełną — krzywą prawdopodobieństwa. Na rysunku liczby oznaczają dziesięciotysięczne.

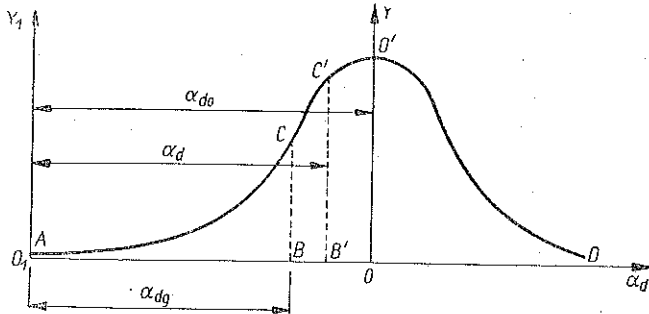


Rys. 3

Przy przejściu od przytoczonych liczb do krzywej gęstości prawdopodobieństw Gaussa należy poszczególne rzędne rys. 3 podzielić przez $\delta\alpha = 0,05$ uwzględniając w ten sposób wpływ długości przedziału. Działanie to bierzemy zresztą pod uwagę dopiero przy obliczeniu pól zawartych między krzywą Gaussa a osią odciętych. Na rysunku 4 przedstawiającym omawianą krzywą, równoległe do osi $O_1 Y_1$ odłożone są gęstości prawdopodobieństw, a odcinek α_{d0} przedstawiający średnią wartość α_d oznacza odległość początku współrzędnych od osi krzywej.

¹ Krzywą tę opracował dr Z. Pełka.

Ze względu na małą liczbę wartości α_d , którymi tu rozporządzamy, wykres Gaussa nie może być uważany za całkowicie właściwy, z powodu jednak jego prostoty i charakteru niniejszej pracy zatrzymujemy się na nim nie uciekając się do wykresów odpowiedniejszych przy małej liczbie spostrzeżeń.



Rys. 4

Wyznaczenie dopuszczalnego naprężenia dla pewnego elementu mostu stalowego lub też wyznaczenie współczynnika bezpieczeństwa dla tego elementu wymaga ustalenia dla naprężeń σ wartości granicznej. Robi się to na podstawie wzoru (por. [2], s. 146)

$$(6) \quad \sigma_g = \sigma_0 \Pi (1+a),$$

gdzie Π jest to znak iloczynu, a a współczynniki przyrostu naprężeń wyrażające każdy z osobna bądź największy możliwy procentowy przyrost naprężenia σ_0 obliczonego ze wzorów (1) (współczynniki a_i), bądź też wpływ czynnika dynamicznego (współczynnik a_d).

Współczynniki a poza współczynnikiem a_d , charakteryzującym dynamiczne działanie obciążenia, mogą być traktowane bądź jako graniczne wartości nielosowe odpowiednich przyrostów naprężeń (metoda półprobabilistyczna), bądź też jako wartości, których nieprzekroczenie wyraża się dla każdego z nich pewnym prawdopodobieństwem ω (metoda probabilistyczna). Prawdopodobieństwa ω możemy w tym ostatnim przypadku uważać za równe

$$(7) \quad \omega = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \theta(h\Delta a) \quad \text{przy} \quad h = \frac{1}{\mu \sqrt{2}},$$

gdzie θ jest to funkcja Laplace'a, μ odchylenie średnie od średniej arytmetycznej pomiarów dotyczących danego współczynnika a , a Δa odpowiednie odchylenie graniczne. Prawdopodobieństwa ω odpowiadają zwykle parokrotnemu (np. 3 do 4,5-krotnemu) odchyleniu średniemu od średniej arytmetycznej.

Łącznie prawdopodobieństwo, że żaden z procentowych przyrostów naprężenia σ_0 nie przekroczy w przypadku obciążenia statycznego wartości a_i , wyraża się w myśl twierdzenia o mnożeniu prawdopodobieństw iloczynem

$$(8) \quad \Omega_s = \Pi \omega_i.$$

W przypadku gdy niektóre ze współczynników a uważamy za wielkości nielosowe, odpowiednie prawdopodobieństwa ω_i będą równe 1. Jeżeli zaś wszystkie współczynniki a uważamy za wielkości nielosowe, wówczas również i prawdopodobieństwo Ω_s równe jest 1.

Współczynniki a są dla prętów rozciąganych mostu stalowego przeważnie następujące, ([2], s. 90),

- a_1 spowodowany różnicami wartości współczynnika sprężystości E w poszczególnych elementach pręta złożonego,
- a_2 spowodowany odchyleniami od założenia płaskich przekrojów,
- a_3 spowodowany błędami w wymiarach przekroju poprzecznego pręta,
- a_4 spowodowany przez mimośród zaczepienia siły podłużnej, wywołany błędami w wymiarach przekrojów poprzecznego pręta,
- a_5 spowodowany odchyleniem osi pręta od prostej,
- a_6 spowodowany przez mimośród wywołany błędem zamocowania poszczególnych elementów pręta,
- a_7 spowodowany przez mimośród wywołany różnicą długości poszczególnych elementów pręta złożonego,
- a_8 spowodowany przez rozciąganie wstępne pręta,
- a_9 spowodowany przez wygięcie pręta wywołane transportem,
- a_{10} spowodowany przez różnicę temperatur w poszczególnych elementach pręta złożonego,
- a_{11} spowodowany utwierdzeniem pręta w węzłach,
- a_{12} spowodowany ugięciem pręta pod wpływem ciężaru własnego.

W przypadku prętów ściskanych bez uwzględnienia wyboczenia stosujemy te same współczynniki a z tym jednak, że należy wówczas wziąć pod uwagę jeden jeszcze współczynnik a_{13} wyrażający przyrost procentowy naprężenia ściskającego σ , spowodowany okolicznością jednoczesnego ściskania i zginania.

W przypadku zginania będziemy mieli współczynniki przyrostu naprężeń następujące:

- a_1 mający ten sam sens co przy rozciąganiu,
- a_2 przyrost spowodowany odchyleniami od założenia płaskich przekrojów,
- a_3 spowodowany błędami w wymiarach przekroju poprzecznego belki,
- a_4 spowodowany mimośrodem i skosem obciążenia,
- a_5 spowodowany nierównoległością podpór belki,
- a_6 (odpowiadający a_9 przy rozciąganiu) spowodowany przez wygięcie wywołane transportem,
- a_7 (odpowiadający a_{10} przy rozciąganiu) spowodowany różnicą temperatur na górnej i dolnej powierzchni belki przy uwzględnieniu tarcia na podporze przesuwnej.

Przyrost naprężenia σ_0 spowodowany czynnikami dynamicznymi obciążenia wyraża tu, jak było powiedziane wyżej, współczynnik oznaczony wyżej przez a_d .

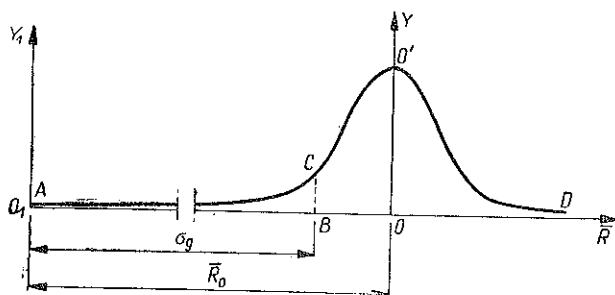
Wzorowi (6) możemy wobec tego nadać postać

$$(9) \quad \sigma_g = \sigma_0 (1 + a_d) II (1 + a_i)$$

lub, co przy małych wartościach α_i prawie na to samo wychodzi, postać

$$(10) \quad \sigma_g = \sigma_0 (1 + \alpha_d) (1 + \sum \alpha_i).$$

Prawdopodobieństwo, że współczynnik α_d , a tym samym i suma $(1 + \alpha_d)$ nie przekroczy pewnej wartości granicznej, oznaczamy przez Ω_d , prawdopodobieństwo zaś, że naprężenie na granicy plastyczności stali jest większe niż naprężenie graniczne σ_g przez Ω_m .



Rys. 5

Wielkość Ω_m może być wyrażona na rys. 5 przez pole BCD . Rysunek ten przedstawia krzywą Gaussa dla naprężeń na granicy plastyczności \bar{R} . Tu odcinek \bar{R}_0 równy średniej arytmetycznej wartości \bar{R} wyraża odległość początku współrzędnych od osi krzywej Gaussa.

Aby rozumiana w przytoczonym wyżej sensie katastrofa mostu nie nastąpiła, potrzeba zbiegu trzech niezależnych od siebie faktów następujących:

- aby żaden z procentowych przyrostów naprężenia σ_0 wyrażonego jednym ze wzorów (1) nie przekroczył wartości α_t (prawdopodobieństwo Ω_s),
- aby procentowy przyrost naprężenia σ_0 spowodowany przez czynniki dynamiczne nie przekroczył wartości α_{dg} (prawdopodobieństwo Ω_d),
- aby naprężenie na granicy plastyczności stali było większe od naprężenia granicznego σ_g (prawdopodobieństwo Ω_m).

Tak więc prawdopodobieństwo Ω faktu, że katastrofa mostu nie będzie miała miejsca, jest prawdopodobieństwem złożonym i wyraża się wobec tego iloczynem

$$(11) \quad \Omega = \Omega_s \Omega_d \Omega_m.$$

Wprowadzamy do dalszych obliczeń, jak to zostało zapowiedziane wyżej, wskaźnik bezpieczeństwa p rozumiany jako przyjęte z góry (*a priori*) prawdopodobieństwo, że katastrofa mostu w sensie przyjętym wyżej, ewentualnie w jakimś innym ujęciu, nie nastąpi. Wskaźnik bezpieczeństwa jest więc miarą tego stopnia bezpieczeństwa, jaki chcemy mostowi zapewnić.

Stąd wynika, że z równania

$$(12) \quad \Omega = p$$

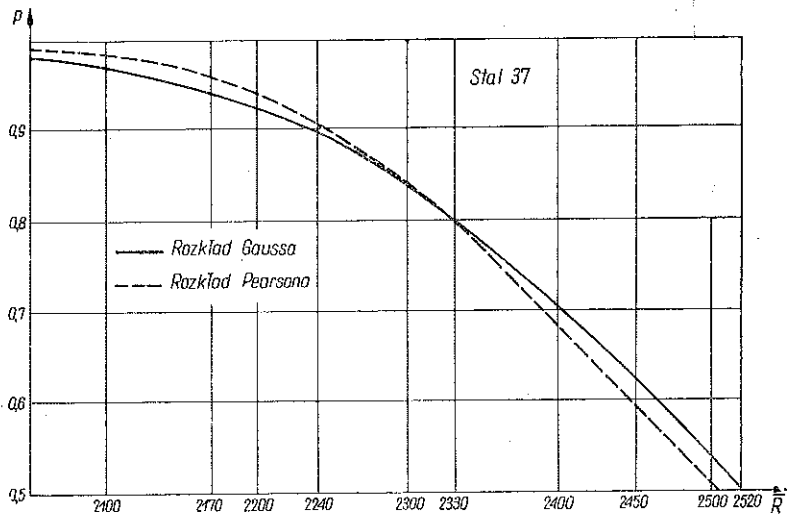
możemy ustalić dopuszczalne naprężenie w danym elemencie mostu lub odpowiedni współczynnik bezpieczeństwa. Równaniu temu możemy nadać postać

$$(13) \quad \Omega_s \Omega_d \Omega_m = p.$$

Stosując dalej do badania bezpieczeństwa mostu metodę półprobabilistyczną przyjmujemy, że wszystkie prawdopodobieństwa ω_i równe są 1 i że wobec tego w równaniu (13) czynnik Ω_s odpada i równanie przybiera postać

$$(14) \quad \Omega_d \Omega_m = p.$$

We wzorze (14) wygodnie jest ze względów rachunkowych przyjmować, że $\Omega_d = \Omega_m$ i wówczas $\Omega_d = \Omega_m = \sqrt{p}$; nie jest to jednak całkowicie uzasadnione, gdyż dokładność krzywej rozkładu prawdopodobieństw jest dla wielkości α_d znacznie mniejsza niż dla wielkości \bar{R} . Gdybyśmy więc po należyтым ustaleniu wszystkich



Rys. 6

współczynników przyrostu naprężeń α_i przyjęli wskaźnik bezpieczeństwa za równy $p = 0,8$, to byłoby słuszne przyjmować dla Ω_d i Ω_m nie $\Omega_d = \Omega_m = \sqrt{p} \approx 0,9$, lecz raczej np. $\Omega_m = 0,95$ i $\Omega_d = 0,85$. Należy przy tej okazji zaznaczyć, że przy $p = 0,8$ otrzymujemy tę samą wartość \bar{R} dla różnych rozkładów prawdopodobieństwa i dlatego ta liczba tu została wprowadzona (rys. 6), [2], s. 89.

Jeżeli się zdecydujemy przyjąć

$$(15) \quad \Omega_d = \sqrt{p},$$

to na wykresie krzywej Gaussa dla wielkości α_d (rys. 5) odkładamy pole BCD równe \sqrt{p} i dochodzimy w ten sposób do wartości granicznej dla α_d , którą oznaczamy przez α_{dg} .

Po ustaleniu granicznych wartości wielkości α_t i α_d możemy rozwiązać równanie (10) względem σ_0 i w ten sposób ustalić dopuszczalne naprężenie k dla danego elementu mostu stalowego:

$$(16) \quad k = \sigma_0 = \frac{\sigma_g}{(1 + \alpha_{dg})(1 + \sum \alpha_{ti})}$$

Przyjmujemy dalej dla przykładu, jak wyjaśniono wyżej, $p = 0,8$ oraz $\Omega_m = \Omega_d = 0,9$.

Wartości $\Omega_m = 0,9$ odpowiada dla stali «37» wartość $\sigma_g = \bar{R} = 2240 \text{ kG/cm}^2$. Wynika to z wykresu przedstawionego na rys. 6, na którym podana jest zależność między wielkościami p i \bar{R} dla rozkładów Gaussa i Pearsona 3 rodzaju.

Wartości α_d odpowiadające różnym prawdopodobieństwom Ω_d znajdujemy z rys. 4 według liczb podanych na rys. 3. Pola $B'C'D$ wyrażają te prawdopodobieństwa. W ten sposób dochodzimy do następującego zestawienia:

Ω_d	α_d	Ω_d	α_d
0,750	0,170	0,875	0,135
0,775	0,164	0,900	0,126
0,800	0,158	0,925	0,114
0,825	0,151	0,950	0,099
0,850	0,144	—	—

Wynika stąd, że przy $\Omega_d = \sqrt{p} = \sim 0,9$ mamy $\alpha_d = 0,126$ i $\vartheta = 1,126$.

W przypadku rozciąganego elementu mostowego współczynniki α_t przybierają wartości następujące, [2], s. 151:

$$\begin{array}{lll} \alpha_1 = 0,02 & \alpha_5 = 0,05 & \alpha_9 = 0,05 \\ \alpha_2 = 0,01 & \alpha_6 = 0,06 & \alpha_{10} = 0,07 \\ \alpha_3 = 0,05 & \alpha_7 = 0,08 & \alpha_{11} = 0,10 \\ \alpha_4 = 0,05 & \alpha_8 = 0,08 & \alpha_{12} = 0,05 \end{array}$$

Jeżeli pręt mostu został połączony z blachą węzłową bardzo precyzyjnie, jeżeli transport jego był staranny, a pręt zajmuje w moście położenie pionowe, wówczas $\alpha_6 = \alpha_9 = \alpha_{12} = 0$, a suma $\sum \alpha_{ti} = 0,51$. W tych warunkach dopuszczalne naprężenie k równa się

$$k = \sigma_0 = \frac{2240}{1,126 \cdot 1,51} = 1320 \text{ [kG/cm}^2\text{]}.$$

Liczba ta stanowi tylko ilustrację do przytoczonych wyżej wywodów i nie może być uważana za jakieś zalecenie praktyczne.

Literatura cytowana w tekście

- [1] Лесохин, *Металлические мосты*, Трансжелдориздат 1959.
 [2] W. WIERZBIKI, *Obiektywne metody oceny bezpieczeństwa konstrukcji budowlanych*, PWN Warszawa 1961.

Резюме

ПОПЫТКА ПРОБАВИЛИСТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ
СТАЛЬНЫХ МОСТОВ

Определение допустимого напряжения k (или коэффициента безопасности) для стального моста, под действием подвижной нагрузки осуществляется на основании уравнения (13), в котором Ω_s обозначает вероятность, что в случае статической нагрузки любое приращение напряжения σ_0 , выраженное формулами (1) не превысит значения α_i , Ω_d — вероятность, что приращение напряжения σ_0 , вызванное динамическими факторами не превысит значения σ_{dy} , а Ω_m — вероятность, что напряжение на пределе пластичности больше предельного напряжения, выраженного формулой (10). Величина p — является показателем безопасности, который следует понимать как вероятность, что катастрофа моста (в данном случае превышение предела пластичности в некотором элементе моста) — не наступит.

Вероятности Ω_d и Ω_m получаем соответственно как площадь BCD на графиках кривых Гаусса для динамических коэффициентов (рис. 4) и для напряжений на пределе пластичности (рис. 5). Если приращения α можно считать неслучайными величинами, тогда $\Omega_s = 1$ и уравнение (13) переходит в уравнение (14). Для этого случая приводится численный расчет. Кривая на рис. 5 построена на основании экспериментальных данных, представленных в гистограмме на рис. 3.

Summary

A TENTATIVE PROBABILISTIC ESTIMATE OF THE SAFETY OF STEEL BRIDGES

The admissible stress k (or the safety factor) of a steel bridge under a moving load can be determined by means of Eq. 13 where Ω_s expresses the probability that in the case of a static load none of the increases of the stress σ_0 expressed by Eqs. (1) exceeds the value α_i , Ω_d — the probability that the increase of the stress σ_0 due to dynamic factors will not exceed σ_{dy} , and Ω_m — the probability that the stress at the yield point is greater than the limit stress expressed by Eq. (10). The quantity p is the safety index constituting the probability that a catastrophe (in our case the fact of exceeding the plastic limit at an element) will not take place. The probabilities Ω_d and Ω_m will be obtained in the form of areas of the regions BCD on the graphs of the Gauss curves for the dynamic coefficients (Fig. 4) and stresses at the yield point (Fig. 5). If the increases of α may be considered to be non-random quantities, $\Omega_s = 1$ and the Eq. (13) becomes (14). For this case numerical computation has been performed. The curve of Fig. 5 has been plotted on the basis of experimental data represented in the form of the histogram of Fig. 3.

Praca została złożona w Redakcji dnia 29 sierpnia 1962 r.